

УДК 539.4:539.5:539.8

Ю. В. Симонов*

Национальный исследовательский технологический университет
МИСиС, г. Москва

**МАК.101@yandex.ru*

Научный руководитель — доц., д-р техн. наук *И. В. Ушаков*

ЛАЗЕРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТЬЮ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Рассмотрены режимы лазерной обработки поверхности титановых сплавов ВТ9 и ВТ18у. По методу восстановленного отпечатка рассчитана микротвердость поверхностных слоев образцов при индентировании пирамидками Берковича и Виккерса. Установлено возрастание микротвердости поверхности после обработки сериями наносекундных импульсов. Проанализированы возможные механизмы, способствующие повышению микротвердости приповерхностных слоев титановых сплавов.

Ключевые слова: лазерная обработка, поверхностные слои, микротвердость, индентирование, титановые сплавы.

Yu. V. Simonov

LASER ADJUSTING MICROHARDNESS OF THE TITANIUM ALLOYS SURFACE LAYER

The modes of laser surface treatment of VT9 and VT18u titanium alloys were investigated. The microhardness of the surface layers of the samples tested by the Berkovich and Vickers pyramids was calculated. The restored imprint method was used for calculations. An increase in the microhardness of the surface after processing by a series of nanosecond pulses was established. Possible mechanisms contributing to the increase in the microhardness of the surface layers of titanium alloys were analyzed.

Key words: laser treatment, surface layers, microhardness, indentation, titanium alloys.

Одним из перспективных методов формирования свойств поверхности является лазерная обработка. Следует отметить, что за последние десятилетия технологии лазерной обработки материалов получили большое развитие.

В работе исследовались поверхности исходных и обработанных образцов конструкционных титановых сплавов: ВТ18у ($\text{Ti}_{85,85}\text{Al}_{6,5}\text{Zr}_4\text{Sn}_2\text{Nb}_1\text{Mo}_{0,5}\text{Si}_{0,15}$) и ВТ9 ($\text{Ti}_{88,3}\text{Al}_{6,4}\text{Mo}_{3,3}\text{Zr}_{1,5}\text{Si}_{0,3}\text{Fe}_{0,2}$). Лазерную обработку проводили на установках ELS–03 и Nd^{3+} : YAG с энергией импульса $E = 10\text{--}20$ мДж.

Области обработки формировали тремя способами. Первый способ сводится к наложению нескольких матриц облученных участков друг на друга. Это приводит к образованию своеобразных «перекрытий», т. е. многократной обработке одной и той же локальной зоны. Смещение матриц достигается механическим движением образца относительно обрабатывающего блока. Второй способ базируется на фокусировании под поверхность импульсов с частотой 100 Гц. При фиксированной глубине фокусировки образец перемещали во взаимно перпендикулярных направлениях с постоянной скоростью 185 мм/с. Третий способ основан на сочетании шести последовательных циклов обработки. Вначале лазерное излучение фокусируется на высоте 5 мм над поверхностью образца и обрабатывается некоторая элементарная площадка поверхности. Затем постепенно фокус с шагом 1 мм приближается к поверхности, и на завершающем этапе излучение фокусируется на поверхность материала.

Расчет микротвердости [1, 2] в случае необработанного материала ВТ9 при нагрузке на пирамидку Берковича, равной 0,05 Н, дает величину $H_v \approx 0,53$ ГПа. Обработанный материал характеризуется существенным увеличением микротвердости. Ее значение составляет 1,52–1,59 ГПа при максимальной нагрузке на пирамидку Берковича, равной 0,05 Н. Это превосходит твердость на исходной поверхности материала ВТ9 в 3 раза.

Большая микротвердость при небольших нагрузках указывает на существенное упрочнение поверхностного слоя. Применение пирамидки Виккерса и больших нагрузок показывает аналогичные результаты на сплаве ВТ18у. Микротвердость обработанных по первым двум способам поверхностей для большинства экспериментальных точек примерно на 25–40 % выше по сравнению с необработанным материалом.

Сверхбыстрое плавление и последующее охлаждение сплавов может приводить к аморфизации обработанных поверхностей. В зонах действия лазерного излучения происходит испарение поверхностного слоя с образованием ударных волн. При этом возможно деформационное упрочнение материала [3]. Проникновение нитридов и оксидов металла в поверхностный слой титанового сплава также способствует повышению микротвердости. Вместо создания специальной защитной среды можно проводить обработку в атмосфере. В результате становится возможным существенно удешевить технологии обработки.

Литература

1. ГОСТ 9450-76. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников. 27 с. Техэксперт : электронный фонд документации [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012869> (дата обращения: 10.01.2020).
2. Боярская Ю. С., Грабко Д. З., Кац М. С. Физика процессов микроиндентирования. Кишинев : Штиинца, 1986. 293 с.
3. Ушаков И. В., Батомункуев А. Ю. Моделирование процессов, инициированных лазерной плазмой в поверхностных слоях многокомпонентного аморфно-нанокристаллического металлического сплава // Физика и химия обработки материалов. 2016. № 5. С. 17–22.